

claims

1. Electrooptical module

with an optically transmissive, plattenförmigen substrate (1) with two flat-parallel broadsides (11, 14),  
with an optical transmission element (12, 512), which serves for the production of transmission radiation and which is intended in a first Vorraum, which is pre-aged to the first broadside (11),  
with means to the jet figuration for linking into a linking surface, which is in the Vorraum of the second broadside (14), whereby the second broadside (14) exhibits a structured surface range, which serves the transmission radiation thrown in the enterprise by the substrate (1) as means for the focusing on the linking surface,  
with the following features:

the first broadside (11) exhibits a crystallographic (100) - orientation, in the first Vorraum the transmission radiation is in the enterprise reflecting and on the first broadside (11) a throwing surface (21) disposed,  
the flat face (21) has a crystallographic (111) - orientation opposite the crystallographic (100) - orientation of the first broadside (11),  
in the Vorraum of the second broadside (14) a photograph device (300, 310) for an owner (400) of an optical wave leader (4) with front surface (42) is assigned to the linking surface,  
the structured surface range is in such a way located that in the enterprise the direction center N radiation (123, 124) of the transmission radiation in the Vorraum of the second broadside (14) from the plumb bob on the second broadside (14) deviates less than within the substrate (1).

2. Module according to claim 1, characterised in that the emission direction of the transmission element (12, 512) parallel to the first broadside (11) runs.

3. Module according to claim 1 or 2, characterised in that the structured surface range as convex lens (15) is arranged.

4. Module according to claim 3, characterised in that, the radius of curvature of the lens (15) is so selected that the transmission jet withdrawing from the transmission element (12, 512) is transformed in such a way that the waist of the transformed transmission jet is as large as the beam waist of a light wave led in a commercial single-mode fiber.

5. Module after one of the preceding claims, characterised in that the surface (21) by anisotropic corroding of a plattenförmigen silicon substrate (2) is formed, which is installed like that on the first broadside (11) that (100) - orientation of the silicon substrate (2) parallel to the first broadside (11) runs.

6. Module after one of the preceding claims, characterised in that it additionally to the transmission element (12) a receipt element (5) exhibits.

7. Module to one of the preceding claims, characterised in that the surface (21) for the transmission radiation, but transmissive wavelength suitable for radiation at least another than receipt wavelength is reflecting.

8. Module after one of the preceding claims, characterised in that parallel to the surface (21) a delimitation surface (31) lies, together with the surface (21) the disk section limited, which consists of a material, the optically transmissive is for one of the transmitted wave length of the transmission element (12) deviating wavelength and a

higher refractive index exhibits than the Vorräume of the surface (21) and the delimitation surface (31).

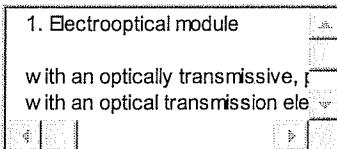
9. Module according to claim 8, characterised in that the delimitation surface (31) also one anisotropic into a silicon slab (2) corroded depression (3) limits.

10. Module according to claim 6 and 9, characterised in that the silicon slab (2) on one of its broadsides (24) the receipt element (5) carries.

11. At the transmission element and/or the point of impact (P5) of the receipt ray of light on the receipt element (5) are each other adapted to module after one of the claims 6 to 10, characterised in that the optical distances between on the one hand the surface (21) and on the other hand the point of light withdrawal (P0).

12. Module after one of the claims 6 to 11, characterised in that refractive indices and geometry are so selected that in the enterprise in the point of impact (P5) of the receipt ray of light on the receipt element (5) the beam waist of the transformed receipt jet is, which results from the lens (15) as illustration of the beam waist in the linking surface.

13. Module after one of the claims 1 to 6, characterised in that the transmission element a component of a Transceiverchips (512) with integrated receipt element is and that the surface (21) is reflecting for the receipt wavelength both for the sending and.



## State of the art

[0001] The invention proceeds from the kind, as indicated in the independent claim 1.

[0002] Such a module is well-known from the German patent specification DE 195 27 026 C2.

[0003] Die Erfundung befasst sich mit einem Modul, insbesondere mit einem optischen Transceiver, der zum Einbau in ein Receptacle für Leadframe-Montagetechnik geeignet ist. In the German patent application 197 55 806,2 a Receptacle for Leadframe mounting technique was suggested.

[0004] For the assembly in a Receptical as transmission element an edge-emitting diode laser diode with integrated jet transformation is usually preferred. Such diode laser diodes have a passive transformation transverse electromagnetic wave, that in light direction of propagation after the active laser channel on the same chip the fashion field diameter of the laser of ca. 1  $\mu\text{m}$  on approx. 4,5  $\mu\text{m}$  increased and thus a better matching to the fashion field diameter for a single-mode fiber of 10  $\mu\text{m}$  makes possible. Becomes simultaneous with this jet transformation of the reflected beam angles of approx. 30 DEG to approximately 12 DEG reduces. Such to the state of the art admitted laser diodes with jet transformation (English: SSC lasers = Spot Size Converted laser diode) are usually used for the direct coupling a single-mode fiber. The laser radiates thereby into one at its end side in slight distance disposed fiber (front surface coupling). The Faserachse must run in addition when the assembly assembling (emission direction) of the laser. The laser can be disturbed by back reflections at the fiber front surface in its radiation characteristic.

[0005] When using the laser in a Receptacle with Leadframe mounting technique the axle of the socket contact and thus the optical fiber runs perpendicularly to the emission direction (assembly level) of the laser, therefore here the front surface coupling described above is not possible. With a Transceiver, that additionally to a transmission element (z. B. Transmission laser) still another receipt element (z. B. Photodiode) exhibits, can in addition during a direct coupling of the fiber to the laser because of the necessary slight distance between the front surfaces of laser and fiber no beam-splitting element for the separation of the sending from the receipt radiation be accommodated.

## Advantages of the invention

[0006] The subject-matter of the application with the features of the claim 1 has the following advantage:

The module is suitable for the installation in a Receptacle and in the large use economically producible. It can be trained as transmission module or Transceiver.

[0007] Favourable training further are indicated in the dependent claims, whose features can be also combined, so far meaningfully.

[0008] While with the module for Leadframe mounting technique after the German patent application 197 55 806,2 for the sending and for the Empfangsrichtung two separate optical transverse electromagnetic wave and thus two socket contacts and one separate sending and receiving element each is intended, a Transceiver module is intended after a further training of the current invention for only an optical transverse electromagnetic wave for the sending and Empfangsrichtung. For the sending and the receiving signals two different wavelengths are used. Zur Richtungstrennung zwischen Sende- und Empfangspfad dient ein wellenlängenselektives Filter.

## Design

[0009] Embodiments of the invention are represented and in the following more near described in the design. In each case the same reference symbols for essentially equal parts are used with several figures. Schematically is shown on average in each case in

Figure 1: a Transceiver module after the invention, with beam path,  
Figure 2: a Transceiver module, which is installed on a side of a Leadframe,  
Figure 3: a Transceiver module with integrated Transceiver chip as transmission element.

#### Description of the embodiment

[0010] Fig. 1 shows the structure and the beam path for an embodiment of a Transceiver module according to invention. A first silicon substrate 1 with flat-parallel broadsides 11, 14 carries 11 as transmission element 12 a transmission laser, which is fastened with the help of an assembly layer 13 on a first broadside. From the light withdrawal surface 120 on the front surface of the transmission laser 12 withdrawing luminous beams with the center N radiation 121 with the transmitted wave length lambda 1 meets an inclined face 21. Preferred this surface is produced by an anisotropic etching process in a second silicon substrate 2. The structuring of the second silicon substrate 2 can here favourable-proves by means of structuring of a silicon wafer in the multiple use to take place. In the Fig. 1 is represented only a use. The surface 21 is coated with a dichroitischen filter layer 22, which reflects the transmitted wave length lambda 1 and which receipt wavelength lets through lambda 2. To the anisotropic silicon etching process due, the surface 21 exhibits a crystallographic (111) - orientation and is opposite (100) - oriented mounting surface 23 of the silicon substrate 2 under an edge angle of

$$\alpha = \arctan(2\sqrt{2}) = 54.7 \text{ DEG}$$

bent. The angle of incidence center N radiation 121 in the luminous beam opposite the surface-normal of the surface 21 is  
 $\beta = 90 \text{ DEG} - \alpha = 35,3 \text{ DEG}$ .

The center N radiation 122 of the reflected luminous beam has opposite the surface-normal of the first broadside 11 of the first silicon substrate 1 an azimuth angle of  
 $\gamma_2 = 90 \text{ DEG} - 2 \cdot \beta = 19.5 \text{ DEG}$ .

With the entrance into the silicon substrate 1 the luminous beam becomes the plumb bob refracted. The azimuth angle  $\gamma_1$  of the luminous beam in the silicon substrate 1 is  
 $\gamma_1 = \arcsin((n_0/n_1) \cdot \sin(\gamma_2))$ .

$n_0$  is the refractive index in the area between the first broadside 11 of the substrate 1, the filter layer 22 and the light withdrawal surface 120 is. This area can be filled out with a transparent adhesive in a first embodiment of the invention (case 1) with air or in a second embodiment (case 2). For air is  $n_0 = n_{0L} = 1$ . For the second embodiment in the following exemplary computation for the transparent adhesive a refractive index is accepted by  $n_{0k} = 1.5$ . For the avoidance of Fresnel reflection losses the first broadside 11 is occupied at least in the region of the jet entrance with an anti-reflection layer.

Silicon has  $m$ , which is exemplarily at the basis put in the computation, with a light wave length of  $\lambda = 1.55 \mu$  a refractive index of 3,4777. With these values one receives 11 for air in the area above the surface

$$\gamma_1L = 5.50 \text{ DEG} \text{ case 1}$$

and for adhesives in the area above the first broadside 11

$$\gamma_1K = 8.27 \text{ DEG} \text{ case 2}$$

On the second broadside 14 of the substrate 1 a lens 15 is intended as structured surface range for the focusing of the transmission luminous beam. Favourable way is this lens, as to the state of the art admits, as if integrated lens directly on the silicon substrate 1 in the multiple use structured. The surface of the lens is occupied with an anti-reflection layer. This lens has the task to convert from the laser withdrawing diverging luminous beams into a converging luminous beam and to illustrate the light withdrawal surface 120 on a linking surface within the front surface 42 of an optical optical waveguide 4 (in the core 41). For the avoidance of back reflections into the laser an angle alpha must be 4 enclosed, that is larger than the angle of convergence between the center N radiation and an edge jet of the converging luminous beam between the normal lines the front surface 42 and the direction center N radiation 124 of the converging luminous beam. To

the state of the art for this optical plugs for a fashion optical fibers are available, whose front surface-normal includes an angle of typically  $\delta = 8$  opposite the Faserachse DEG. A light bundle withdrawing from the fiber becomes thereby under the angle of  $\alpha_4 = \arcsin(n_f \sin \delta) = 11.7$  DEG

zur Flächennormalen gebrochen, wobei  $n_f = 1,46$  DEG der Brechungsindex des Faserkerns ist. The angle between the Faserachse and the center N radiation of a withdrawing luminous beam is then

$$\epsilon = \alpha_4 - \delta = 3.7 \text{ DEG}$$

In order this angle must also an incident luminous beam opposite the Faserachse bent be linked, in order to avoid Einkoppelverluste due to Winkeldejustierung. In order to make a economical assembly possible of a socket contact in a Receptacle, the axle of the socket contact and concomitantly a put in plug must be perpendicularly to the mounting surface of the Receptacles led. Hence it follows that the center N radiation 124 of the converging bundle must include an angle of  $\epsilon = 3.7$  DEG with the surface-normal of the second broadside 14 of the silicon substrate 1. If the luminous beam without the lens 15 from the even broadside 14 would withdraw, then the center N radiation of the plumb bob on the broadside became 14 away-refracted. In the first case this angle would be 19.5 DEG and in the second case 30 DEG. These angles would be much too large in relation to the necessary angle of  $\epsilon = 3.7$  DEG. If one sets however the convex lens 15 in such a way that the jet direction center N radiation by the center of curvature of the MP of the lens runs, then the center N radiation penetrates the lens unbroken and occurs in the case 1 under the angle of 5,50 DEG and in the case 2 under the angle of 8,27 DEG the fiber. This is still a considerable deviation from the ideal angle  $\epsilon = 3.7$  DEG. The angle can according to invention be reached  $\epsilon = 3.7$  DEG by as the lens is laterally shifted. The amount of this disalignment depends on the radius of curvature of the lens. Over the choice of the radius of curvature the enlargement ratio for the jet transformation can be adjusted. In order to receive an optimal ouple efficiency, the jet withdrawing from the diode laser, the approach will become as Gauss jet viewed can, then transformed that the waist of the transformed laser beam is so large, like the beam waist of a light wave led in the single-mode fiber. In the following results are indicated by computations for typical inputs; therein referred LD (laser diode) the transmission element 12.

Inputs:

```

< tb> < TABLE> Columns=2
< tb> Wellenlänge< SEP> lambda = 1.55 mu m
< tb> Thickness of the 1. Siliziumsubstrates< SEP> d1 = 525 mu m
< tb> Thickness 2. Siliziumsubstrates< SEP> d2 = 525 mu m
< tb> Refractive index of the Siliziums< SEP> nSi = 3,4777
< tb> Thickness of the Laserchips< SEP> dch = 250 mu m
< tb> Thickness of the assembly layer for LD< SEP> DS = 25 mu m
< tb> Height of the active zone over Substrat< SEP> 1 hektar = 275 mu m
< tb> Fashion field radius of the Lasers< SEP> wl = 2.25 mu m
< tb> Fashion field radius of the Faser< SEP> wF = 5 mu m
< tb> Angle of intersection of the fiber front surface horizontaler< SEP> delta = 8 DEG
< tb> LD was away - Filter surface 22< SEP> s121 = 225 mu m
< tb> Case 1: Refractive index above surface 11< SEP> n0L = 1
< tb> Case 2: Refractive index above surface 11< SEP> n0K = 1,5
< tb> < /TABLE>

```

With these inputs the computation for the case 1 results in the following results for the illustration and the jet efflux:

```

< tb> < TABLE> Columns=2
< tb> Radius of curvature of the SI lens:< SEP> RK = 1100 mu m
< tb> Radius of the SI-Linse< SEP> RL = 400 mu m
< tb> Taillenradius des transformierten Strahls< SEP> w0Lt = 4,9 mu m

```

< tb> optical way laser - lens (article width) < SEP> g = 649 mu m  
 < tb> optical way lens - fiber (image intercept) < SEP> b = 1404 mu m  
 < tb> Enlargement M = b/g< SEP> M = 2,2  
 < tb> Disalignment lens curvature center - Mittenstrahl< SEP> DELTA XK = 14 mu m  
 < tb> Disalignment lens center - Stahlmitte< SEP> DELTA XL = 120 mu m  
 < tb> Jet direction in the SI substrate 1< SEP> gamma 1L = 5.50 DEG  
 < tb> Jet direction under the SI-Linse< SEP> gamma 4 = 3.7 DEG  
 < tb> necessary irradiating direction in Faser< SEP> epsilon = 3.7 DEG  
 < tb> < /TABLE>

For the case 2 one receives these results:

< tb> < TABLE> Columns=2  
 < tb> Radius of curvature of the SI lens: < SEP> RK = 825 mu m  
 < tb> Radius of the SI-Linse< SEP> RL = 400 mu m  
 < tb> Waist radius of the transformed Strahls< SEP> w0Lt= 5.0 mu m  
 < tb> optical way laser - lens (article width) < SEP> g = 482 mu m  
 < tb> optical way lens - fiber (image intercept) < SEP> b = 1072 mu m  
 < tb> Enlargement M = b/g< SEP> M = 2,2  
 < tb> Disalignment lens curvature center - Mittenstrahl< SEP> DELTA XKr= 26,6 mu m  
 < tb> Disalignment lens center - Stahlmitte< SEP> DELTA XLi= 147 mu m  
 < tb> Jet direction in the SI substrate 1< SEP> gamma 1K = 8.27 DEG  
 < tb> Jet direction under the SI-Linse< SEP> gamma 4 = 3.7 DEG  
 < tb> necessary irradiating direction in Faser< SEP> epsilon = 3.7 DEG  
 < tb> < /TABLE>

[0014] For the two cases with air and/or. Adhesive above the first broadside 11 of the substrate 1 leaves itself by choice of the lens radius of curvature RK of 1100 mu to m and/or. 825 mu m and the lens disalignment DELTA XLI of 120 mu m and/or. 147 mu m the waist size and the jet direction in such a way adapt that an optimal linking into perpendicularly to the assembly level of the laser an aligned single-mode fiber is possible.

[0015] The computation for the propagation of the luminous beams is valid according to the reciprocity principle of the optic just as also for the reverse optical path. That is, that a receipt jet up to the impact the dichroitische filter layer 22, withdrawing from the fiber, experiences the the same transformation and Strahlumlenkung as the transmission jet. The dichroitische filter layer 22 has a very small reflecting power and a very high transmission ability for the receipt jet because of its other wavelength. The receipt jet is here thus not reflected, but it occurs the inside the silicon substrate 2. The angle of incidence alpha 2 center N radiation is here just like with the incident transmission jet of the angles beta = 35.3 DEG. At the surface 21 the receipt jet becomes the plumb bob refracted. The angle of refraction behind the surface 21 is beta 2 = arcsin ((n0/n2) .sin (alpha 2)).

[0016] For the case 1 with n0 = n0L = 1 for air and n2 = nSi = one receives 3.4777 for silicon as substrate material for the substrate 2  
 $\beta_{2L} = 9.56 \text{ DEG}$ .

The azimuth angle opposite the surface-normal of the top side 24 of the substrate 2 is  
 $\gamma_{24L} = \alpha - \beta_{2L} = 54.74 \text{ DEG} - 9.56 \text{ DEG} = 45.18 \text{ DEG}$   
 For the case 2 with n0 = nOK = 1.5 for adhesives and n2 = nSi = one receives 3.4777 for silicon as substrate material for the substrate 2  
 $\beta_{2C} = 14.42 \text{ DEG}$ .

The azimuth angle opposite the surface-normal of the top side 24 of the substrate 2 is  
 $\gamma_{24L} = \alpha - \beta_{2L} = 54.74 \text{ DEG} - 14.42 \text{ DEG} = 40.32 \text{ DEG}$

The limit angle of the total reflexion from silicon after air is  
 $\beta_{grL} = \arcsin (1/nsi) = 16.71 \text{ DEG}$ .

Opposite a transparent adhesive with numerical controls = 1.5 is the limit angle from

silicon

beta grK = arcsin (numerical control /nsi) = 25.55 DEG.

A withdrawal from the page 24 of the silicon substrate is not possible for both cases, even if the page 24 would border against a transparent adhesive, since the jet azimuth angle is larger opposite the surface-normal of the page 24 for both cases than the limit angle of the total reflexion. A photodiode attached on the page 24 could receive therefore no light from the transmission fiber 4.

[0017] In order the receipt light nevertheless from the silicon substrate 2 uncouple and into one planar on the page 24 installed receipt diode 5 launching to be able, is produced according to a further training of the invention an anisotropic corroded depression 3 in the page 24 of the substrate 2. The receipt light bundle with the center N radiation 131 meets the side face 31 of the depression 3. Since the two surfaces are 21 and 31 parallel to each other because of the same anisotropic etching process, is for the two cases with air and/or. a transparent adhesive left-sided the surface 21 the angle of incidence beta 3L and/or. beta 3K center N radiation 131 at the delimitation surface 31 as largely as the angle of refraction beta 2L and/or. beta 2C rechtsseitig the surface 21. In both cases the angle of incidence is smaller than the limit angle of the total reflexion, so that the light can withdraw from the silicon substrate. In order to avoid losses by Fresnel reflections at the boundary surface 31, this surface with an anti-reflection layer 32 is occupied. In place of an anti-reflection layer also the same filter layer as in can be used here layer 22. In this case both sides of the silicon wafer 2 during the same vacuum process can be coated.

[0018] The depression 3 can be filled with a transparent adhesive either with air or also. Depending upon refractive index in the depression 3 the 2 following combinations result for the angles of refraction of the two cases 1 and:

Case 1a

```
< tb> < TABLE> Columns=3
< tb> Area before surface 21: < SEP> Luft< SEP> noL = 1
< tb> Area behind surface 31: < SEP> Luft< SEP> n3L = 1
< tb> Azimuth angle of jet 132< SEP> < SEP> gamma 132 = 19.47 DEG
< tb> < /TABLE>
```

Case 1b

```
< tb> < TABLE> Columns=3
< tb> Area before surface 21: < SEP> Luft< SEP> noL = 1
< tb> Area behind surface 31: < SEP> Kleber< SEP> n3K = 1,5
< tb> Azimuth angle of jet 132< SEP> < SEP> gamma 132 = 32.10 DEG
< tb> < /TABLE>
```

Case 2a

```
< tb> < TABLE> Columns=3
< tb> Area before surface 21: < SEP> Kleber< SEP> NOC = 1,5
< tb> Area behind surface 31: < SEP> Luft< SEP> n3L = 1
< tb> Azimuth angle of jet 132< SEP> < SEP> gamma 132 = -5.26 DEG
< tb> < /TABLE>
```

Case 2b

```
< tb> < TABLE> Columns=3
< tb> Raum vor Fläche 21:<SEP>Kleber<SEP>noK = 1,5
< tb> Area behind surface 31: < SEP> Kleber< SEP> n3K = 1,5
```

< tb> Azimuth angle of jet 132< SEP> < SEP> gamma 132 = 19.47 DEG  
< tb> < /TABLE>

[0023] On the page 24 of the second silicon substrate 2 the receipt diode 5 serving as receipt element is installed in such a way that its photo-sensitive surface lies over the opening 33 of the depression 3. Either a photodiode with the active surface on the top side can, like in Fig. 1 shown, or a photodiode with the active surface on the lower surface used become. The lateral position of the photodiode can become on the basis the azimuth angles indicated above and the position of the depression 3 concerning the surface 21 predetermined and by marks or rest structures on the page 24 of the silicon substrate 2 characterized, so that a passive adjustment of this receipt diode is possible.

[0024] The optical distances (= geometrical distance divided by the refractive index of the material gone through in each case) between the point of light withdrawal P0 at the laser front surface and the point of impact P21 of the transmission jet 121 on the surface 21 on the one hand and the receipt ray of light between the point P21 and the light point of impact P5 on the receipt diode 5 on the other hand can be adapted by a suitable positioning of the depression 3 concerning the surface 21 each other. It can be achieved that in the point P5 the beam waist of the transformed receipt jet comes to lie, which results as illustration of the beam waist on the fiber front surface 42 from the lens 15. The transformed Emfangsstrahltaille in the point P5 has then the same diameter as the beam waist of the laser beam at the light withdrawal surface in the point P0 of the laser. In the indicated example are this 4.5  $\mu$  m. Thus also small-area photodiodes, which are necessary for highest frequency ranges (diameters of the active zone typically 30  $\mu$  m, leave themselves) still with sufficient adjustment clearance couple.

[0025] For the module according to invention a economical production of the silicon substrates 1 and 2 is possible, since they can be structured and coated in the large use on wafer level. The assembly of the opto-electronic conversion elements can take place likewise economically on wafer level. Also the mutual adjustment of the upper and lower silicon substrate can favourable-proves on wafer level to happen. With only one adjustment procedure all partial substrates both are aligned to each other at the same time wafer. This adjustment can take place also adjustment-free, if fabricated on the wafer in at least two places corresponding rest structures become common with the anisotropic corrosion of the remaining structures to each other. These rest structures can be for example pyramid-shaped depressions, into which precision balls are inserted. The mutual adjustment both the wafer can take place by means of sticking, soldering or another well-known attachment procedure. After the adjustment those are isolated wafer and the individual module components on the Leadframes are installed.

[0026] Fig. a Transceiver module according to invention, which is installed on a page 201 of a Leadframe 200, shows 2. On the other page 202 of the Leadframe 200 a socket contact 300 with their flange surface 301 is actively adjusted and over laser spotwelds 203 fixed. In diese Steckbuchse ist eine Ferrule 400 mit der Übertragungsfaser 4 eingeführt. This fiber has a diagonally cut front surface (the angle of intersection in this embodiment is 8 DEG), into which the transformed laser beam 124 is linked. The axial distance becomes so preset thereby by the stop ring 310 that between the lens 15 on the lower surface 14 of the silicon substrate 1 and the waist of the transformed laser beam 124 the straight image intercept b computed above is appropriate. The lateral position of the fiber concerning the beam waist of the transformed laser beam is stopped by active adjustment of the flange surface 301 on the lower surface 202 of the Leadframes 200 and fixed by laser spotwelds 203.

[0027] The light signal withdrawing from the backside of the laser chip can be used, as to the state of the art usual, for power adjustment. The structure according to invention offers for this a favourable solution for Strahlumlenkung on a planar installed monitor diode 60. This monitor diode is installed according to invention in a depression 16 in the silicon substrate 1. The upper silicon substrate 2 receives a further anisotropic corroded

surface 61, which faces the surface 21. Both surfaces 21 and 61 are thereby the side faces of an anisotropic corroded opening 20 in the upper silicon substrate 2. The Strahlumlenkung of the rear withdrawing laser beam is done via reflection on the surface 61, which is occupied for this with a layer 62 reflecting the laser wavelength. Favourable way can have this layer 62 the same structure, as the dichroitische layer 22 on the surface 21 and with this without substantial additional expenditure fabricated become common. For the electrical and mechanical contacting of the lower surface of the monitor diode 60 the soil and at least one of the side faces of the depression 16 with a gold layer 17 are occupied. The remaining electrical contacting of the receipt and transmission branch of the Transceiver module takes place over bond wires at the appropriate contact areas of the Leadframes (here not drawn). To the protection from environmental influences the active elements of the Transceivers and the bond wires with an optically transparent protection capping (English can. glob top) 70 enveloped its. The total module can be surrounded then still with a hard casing (not drawn here).

Modification possibilities:

[0028] In place of the laser chip 12 also an integrated Transceiverchip 512 (Fig can. 3) used become. Such Transceiverchip contains on a chip integrates a transmitting unit, that the wavelength lambda of 1 sends and a receiving element, which receives the receipt wavelength lambda 2. The sending and the receipt light across the same in and output wave leaders on the chip are led and have the same light in and - withdrawal mark, which is because of the place P0. This common in and output wave leader can be trained, as described before, as transformation transverse electromagnetic wave as the enlargement of the fashion field diameter. The beam paths for the sending and the Empfangsrichtung are then like that, as was described before for the transmission direction. The dichroitische filter layer 22 is replaced now by a reflectance layer 522 for both wavelengths. Die Trennung der Wellenlängen geschieht auf dem integrierten Transceiverchip durch einen dort integrierten wellenlängenselektiven Koppler. Zusätzlich kann der Transceiverchip auch eine integrierte Monitordiode enthalten, so dass die Monitordiode 60 nach Figur 2 in der Vertiefung 16 mit der zur Strahlumlenkung vorgesehenen Fläche 61 entfallen kann.

[0029] Likewise it is possible, the arrangement according to invention whole without receiving element to thus use without the photodiode 5 and without the depression 3 only with the laser chip 12 as pure transmission module.



(21) Aktenzeichen: 198 10 624.6

(22) Anmeldetag: 12. 3. 98

(43) Offenlegungstag: 16. 9. 99

⑦1 Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:

Hauer, Heiner, 70734 Fellbach, DE; Kuke, Albrecht, Dr., 71549 Auenwald, DE; Moess, Eberhard, 71540 Murrhardt, DE; Schwaderer, Bernhard, Dr., 71554 Weissach, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

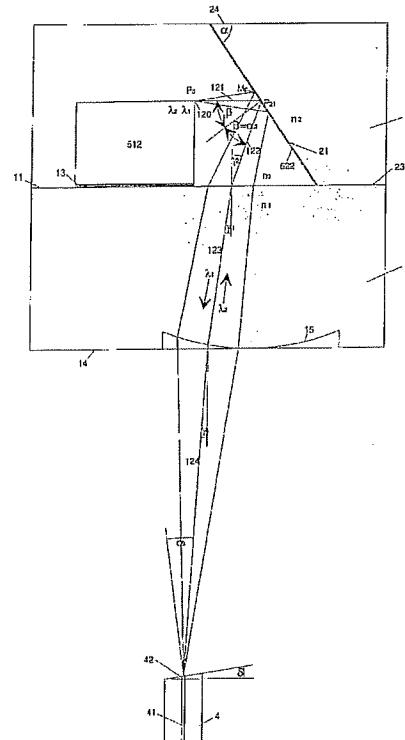
## ⑤4 Elektrooptisches Modul

#### **(57) Elektrooptisches Modul mit**

- . transparentem Substrat (1),
- Sendelaser (512) in einem ersten Vorraum, der einer Breitseite (11) vorgelagert ist,
- einer Linse (15) zur Strahlformung für die Einkopplung in eine Einkopplungsfläche (42) im Vorraum der anderen Breitseite (14).
- Die Breitseite (11) hat eine kristallographische (100)-Orientierung,
- im ersten Vorraum ist eine die Sendestrahlung reflektierende und auf die erste Breitseite (11) werfende Fläche (21) angeordnet,
- diese hat eine kristallographische (111)-Orientierung,
- im Vorraum der zweiten Breitseite (14) ist der Einkopplungsfläche (42) eine Aufnahmeverrichtung (300, 310) für einen Halter (400) eines optischen Wellenleiters (4) zugeordnet,
- die Linse (15) ist lateral so lokalisiert, daß die Richtung des Mittenstrahls (123, 124) der Sendestrahlung im Vorraum der zweiten Breitseite (14) weniger von dem Lot auf der zweiten Breitseite (14) abweicht als innerhalb des Substrats (1).

Abwandlungsmöglichkeit durch eine Fläche (21), die für Empfangsstrahlung abweichender Wellenlänge durchlässig ist.

#### Anwendung bei der Leadframe-Technik.



## Beschreibung

## Stand der Technik

5 Die Erfindung geht von der Gattung aus, wie im unabhängigen Anspruch 1 angegeben.  
 Ein solches Modul ist aus der deutschen Patentschrift DE 195 27 026 C2 bekannt.  
 Die Erfindung befaßt sich mit einem Modul, insbesondere mit einem optischen Transceiver, der zum Einbau in ein Receptacle für Leadframe-Montagetechnik geeignet ist. In der deutschen Patentanmeldung 197 55 806.2 wurde ein Receptacle für Leadframe-Montagetechnik vorgeschlagen.

10 Für die Montage in einem Receptacle wird üblicherweise als Sendebauelement eine kantenemittierende Halbleiterlaserdiode mit integrierter Strahltransformation bevorzugt. Solche Halbleiterlaserdiode haben in Lichtausbreitungsrichtung nach dem aktiven Laserkanal auf dem gleichen Chip einen passiven Transformationswellenleiter, der den Modenfelddurchmesser des Lasers von ca. 1 µm auf ca. 4,5 µm vergrößert und somit eine bessere Anpassung an den Modenfelddurchmesser einer Einmodenfaser von 10 µm ermöglicht. Gleichzeitig wird bei dieser Strahltransformation der Abstrahlwinkel von ca. 30° auf etwa 12° reduziert. Solche nach dem Stand der Technik bekannten Laserdioden mit Strahltransformation (engl.: SSC-Laser = Spot Size Converted Laserdiode) werden üblicherweise für die Direktankopplung einer Einmodenfaser verwendet. Der Laser strahlt dabei in eine an seiner Stirnseite in geringem Abstand angeordnete Faser ein (Stirnflächenkopplung). Die Faserachse muß dazu in der Montageebene (Emissionsrichtung) des Lasers verlaufen. Dabei kann der Laser durch Rückreflexionen an der Faserstirnfläche in seiner Abstrahlcharakteristik gestört werden.

15 20 Bei der Verwendung des Lasers in einem Receptacle mit Leadframe-Montagetechnik verläuft die Achse der Steckbuchse und damit der optischen Faser senkrecht zur Emissionsrichtung (Montageebene) des Lasers, daher ist hier die oben beschriebene Stirnflächenkopplung nicht möglich. Bei einem Transceiver, der zusätzlich zu einem Sendeelement (z. B. Sendelaser) noch ein Empfangselement (z. B. Fotodiode) aufweist, läßt sich außerdem bei einer Direktankopplung der Faser an den Laser wegen des erforderlichen geringen Abstandes zwischen den Stirnflächen von Laser und Faser kein 25 strahlteilendes Element zur Trennung der Sende- von der Empfangsstrahlung unterbringen.

## Vorteile der Erfindung

Der Anmeldungsgegenstand mit den Merkmalen des Anspruches 1 hat folgenden Vorteil:

30 Das Modul ist für den Einbau in ein Receptacle geeignet und im Großnutzen kostengünstig herstellbar. Es kann als Sende- oder Transceiver ausgebildet sein.  
 Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben, deren Merkmale auch, soweit sinnvoll, miteinander kombiniert werden können.  
 Während bei dem Modul für Leadframe-Montagetechnik nach der deutschen Patentanmeldung 197 55 806.2 für die 35 Sende- und Empfangsrichtung zwei getrennte optische Wellenleiter und somit zwei Steckbuchsen und je ein getrenntes Sende- und Empfangsteil vorgesehen sind, ist ein Transceiver-Modul nach einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung für nur einen optischen Wellenleiter für die Sende- und Empfangsrichtung vorgesehen. Dabei werden für die Sende- und die Empfangssignale zwei unterschiedliche Wellenlängen verwendet. Zur Richtungstrennung zwischen Sende- und Empfangspfad dient ein wellenlängenselektives Filter.

## 40 Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und im Folgenden näher erläutert. Dabei sind bei mehreren Figuren jeweils dieselben Bezugszeichen für im wesentlichen gleiche Teile verwendet. Schematisch ist jedoch im Schnitt gezeigt in

**Fig. 1** ein Transceiver-Modul nach der Erfindung, mit Strahlengang,  
**Fig. 2** ein Transceiver-Modul, das auf einer Seite eines Leadframe montiert ist,  
**Fig. 3** ein Transceiver-Modul mit integriertem Transceiver-Chip als Sendeelement.

## 50 Beschreibung des Ausführungsbeispiels

**Fig. 1** zeigt den Aufbau und den Strahlengang für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Transceiver-Moduls. Ein erstes Siliziumsubstrat **1** mit planparallelen Breitseiten **11**, **14** trägt auf einer ersten Breitseite **11** als Sendebauelement **12** einen Sendelaser, der mit Hilfe einer Montageschicht **13** befestigt ist. Das aus der Lichtaustrittsfläche **120** auf 55 der Stirnfläche des Sendelasers **12** austretende Strahlenbündel mit dem Mittenstrahl **121** bei der Sendewellenlänge  $\lambda_1$  trifft auf eine geneigte Fläche **21**. Bevorzugt wird diese Fläche durch einen anisotropen Ätzprozeß in einem zweiten Siliziumsubstrat **2** erzeugt. Die Strukturierung des zweiten Siliziumsubstrats **2** kann hierbei vorteilhafterweise durch Strukturierung eines Siliziumwafers im Vielfachnutzen geschehen. In der **Fig. 1** ist nur ein Nutzen dargestellt. Die Fläche **21** ist mit einer dichroitischen Filterschicht **22** beschichtet, welche die Sendewellenlänge  $\lambda_1$  reflektiert und die Empfangswellenlänge  $\lambda_2$  durchläßt. Durch den anisotropen Silizium-Ätzprozeß bedingt, weist die Fläche **21** eine kristallographische (111)-Orientierung auf und ist gegenüber der (100)-orientierten Montagefläche **23** des Siliziumsubstrates **2** unter einem Böschungswinkel von

$$\alpha = \arctan(\sqrt{2}) = 54,7^\circ$$

65 geneigt. Der Einfallswinkel des Mittenstrahls **121** im Strahlenbündel gegenüber der Flächennormalen der Fläche **21** ist

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 35,3^\circ$$

Der Mittenstrahl **122** des reflektierten Strahlenbündels hat gegenüber der Flächennormalen der ersten Breitseite **11** des ersten Siliziumsubstrates **1** einen Richtungswinkel von

$$\gamma_2 = 90^\circ - 2 \cdot \beta = 19,5^\circ.$$

5

Beim Eintritt in das Siliziumsubstrat **1** wird das Strahlenbündel zum Lot hingebrochen. Der Richtungswinkel  $\gamma_1$  des Strahlenbündels im Siliziumsubstrat **1** ist

$$\gamma_1 = \arcsin((n_0/n_1) \cdot \sin(\gamma_2)).$$

10

Dabei ist  $n_0$  der Brechungsindex im Raum zwischen der ersten Breitseite **11** des Substrats **1**, der Filterschicht **22** und der Lichtaustrittsfläche **120** ist. Dieser Raum kann in einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung (Fall 1) mit Luft oder in einem zweiten Ausführungsbeispiel (Fall 2) mit einem transparenten Kleber ausgefüllt sein. Für Luft ist  $n_0 = n_{0L} = 1$ . Für das zweite Ausführungsbeispiel wird in der nachfolgenden beispielhaften Berechnung für den transparenten Kleber ein Brechungsindex von  $n_{0K} = 1,5$  angenommen. Zur Vermeidung von fresnelschen Reflexionsverlusten wird die erste Breitseite **11** zumindest im Bereich des Strahleintritts mit einer Antireflexionsschicht belegt. Silizium hat bei einer Lichtwellenlänge von  $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ , die in der Berechnung beispielhaft zugrunde gelegt wird, einen Brechungsindex von 3,4777. Mit diesen Werten erhält man für Luft im Raum oberhalb der Fläche **11**

15

$$\gamma_{1L} = 5,50^\circ \text{ Fall 1}$$

20

und für Kleber im Raum oberhalb der ersten Breitseite **11**

$$\gamma_{1K} = 8,27^\circ \text{ Fall 2.}$$

25

Auf der zweiten Breitseite **14** des Substrates **1** ist als strukturierter Oberflächenbereich zur Fokussierung des Sendestrahlenbündels eine Linse **15** vorgesehen. Vorteilhafterweise ist diese Linse, wie nach dem Stand der Technik bekannt, als integrierte Linse direkt auf dem Siliziumsubstrat **1** im Vielfachnutzen strukturiert. Die Oberfläche der Linse ist mit einer Antireflexionsschicht belegt. Diese Linse hat die Aufgabe, das aus dem Laser austretende divergierende Strahlenbündel in ein konvergierendes Strahlenbündel umzuwandeln und dabei die Lichtaustrittsfläche **120** auf eine Einkopplungsfläche innerhalb der Stirnfläche **42** eines optischen Lichtwellenleiters **4** (nämlich im Kern **41**) abzubilden. Zur Vermeidung von Rückreflexionen in den Laser muß zwischen der Normalen der Stirnfläche **42** und der Richtung des Mittenstrahls **124** des konvergierenden Strahlenbündels ein Winkel  $\alpha_4$  eingeschlossen sein, der größer ist als der Konvergenzwinkel zwischen dem Mittenstrahl und einem Randstrahl des konvergierenden Strahlenbündels. Nach dem Stand der Technik sind hierfür optische Stecker für Einmoden-Lichtleitfasern erhältlich, deren Stirnflächennormale gegenüber der Faserachse einen Winkel von typischerweise  $\delta = 8^\circ$  einschließt. Ein aus der Faser austretendes Lichtbündel wird dabei unter dem Winkel von

30

35

$$\alpha_4 = \arcsin(n_f \cdot \sin \delta) = 11,7^\circ$$

40

zur Flächennormalen gebrochen, wobei  $n_f = 1,46^\circ$  der Brechungsindex des Faserkerns ist. Der Winkel zwischen der Faserachse und dem Mittenstrahl eines austretenden Strahlenbündels ist dann

$$\varepsilon = \alpha_4 - \delta = 3,7^\circ.$$

45

Um diesen Winkel muß auch ein einfallendes Strahlenbündel gegenüber der Faserachse geneigt eingekoppelt werden, um Einkoppelverluste infolge Winkeldejustierung zu vermeiden. Um eine kostengünstige Montage einer Steckbuchse in einem Receptacle zu ermöglichen, muß die Achse der Steckbuchse und damit auch eines eingesteckten Steckers senkrecht zur Montagefläche des Receptacles geführt sein. Daraus folgt, daß der Mittenstrahl **124** des konvergierenden Bündels einen Winkel von  $\varepsilon = 3,7^\circ$  mit der Flächennormalen der zweiten Breitseite **14** des Siliziumsubstrates **1** einschließen muß. Würde das Strahlenbündel ohne die Linse **15** aus der ebenen Breitseite **14** austreten, so würde der Mittenstrahl vom Lot auf der Breitseite **14** weggebrochen. Im ersten Fall wäre dieser Winkel  $19,5^\circ$  und im zweiten Fall  $30^\circ$ . Diese Winkel wären gegenüber dem erforderlichen Winkel von  $\varepsilon = 3,7^\circ$  viel zu groß. Setzt man jedoch die konvexe Linse **15** so, daß die Strahlrichtung des Mittenstrahls durch den Krümmungsmittelpunkt  $M_p$  der Linse verläuft, so durchdringt der Mittenstrahl die Linse ungebrochen und tritt im Fall 1 unter dem Winkel von  $5,50^\circ$  und im Fall 2 unter dem Winkel von  $8,27^\circ$  in die Faser ein. Dies ist immer noch eine beträchtliche Abweichung von dem Idealwinkel  $\varepsilon = 3,7^\circ$ . Erfindungsgemäß läßt sich der Winkel  $\varepsilon = 3,7^\circ$  dadurch erreichen, indem die Linse lateral versetzt wird. Der Betrag dieses Versatzes hängt vom Krümmungsradius der Linse ab. Über die Wahl des Krümmungsradius läßt sich das Vergrößerungsverhältnis für die Strahltransformation einstellen. Um einen optimalen Koppelwirkungsgrad zu erhalten, wird der aus dem Halbleiterlaser austretende Strahl, der näherungsweise als Gaußstrahl betrachtet werden kann, so transformiert, daß die Taille des transformierten Laserstrahls so groß ist, wie die Strahltaille einer in der Einmodenfaser geführten Lichtwelle. Im folgenden werden Ergebnisse von Berechnungen für typische Eingangsgrößen angegeben; darin bezeichnet LD (Laserdiode) das Sendeelement **12**.

50

55

60

65

## Eingangsgrößen

	Wellenlänge	$\lambda$
5	Dicke des 1. Siliziumsubstrates	= 1,55 $\mu\text{m}$
	Dicke des 2. Siliziumsubstrates	$d_1 = 525 \mu\text{m}$
	Brechungsindex des Siliziums	$d_2 = 525 \mu\text{m}$
	Dicke des Laserchips	$n_{\text{Si}} = 3,4777$
	Dicke der Montageschicht für LD	$d_{\text{ch}} = 250 \mu\text{m}$
10	Höhe der aktiven Zone über Substrat 1	$d_s = 25 \mu\text{m}$
	Modenfeldradius des Lasers	$h_a = 275 \mu\text{m}$
	Modenfeldradius der Faser	$w_L = 2,25 \mu\text{m}$
	Schnittwinkel der Faserstirnfläche	$w_F = 5 \mu\text{m}$
	horizontaler Abstand LD – Filterfläche 22	$\delta = 8^\circ$
15	Fall 1: Brechungsindex oberhalb Fläche 11	$s_{121} = 225 \mu\text{m}$
	Fall 2: Brechungsindex oberhalb Fläche 11	$n_{0L} = 1$
		$n_{0K} = 1,5$

Mit diesen Eingangsgrößen ergibt die Berechnung für den Fall 1 folgende Ergebnisse für die Abbildung und den Strahlverlauf:

	Krümmungsradius der Si-Linse	$R_K = 1100 \mu\text{m}$
	Radius der Si-Linse	$R_L = 400 \mu\text{m}$
	Taillenradius des transformierten Strahls	$w_{0L,t} = 4,9 \mu\text{m}$
25	optischer Weg Laser – Linse (Gegenstandsweite)	$g = 649 \mu\text{m}$
	optischer Weg Linse – Faser (Bildweite)	$b = 1404 \mu\text{m}$
	Vergrößerung $M = b/g$	$M = 2,2$
	Versatz Linsenkrümmungsmitte – Mittenstrahl	$\Delta X_K = 14 \mu\text{m}$
	Versatz Linsenmitte – Stahlmitte	$\Delta X_L = 120 \mu\text{m}$
30	Strahlrichtung im Si-Substrat 1	$\gamma_{LK} = 5,50^\circ$
	Strahlrichtung unter der Si-Linse $\gamma_4$	$= 3,7^\circ$
	erforderliche Einstrahlrichtung in Faser	$\varepsilon = 3,7^\circ$

35 Für den Fall 2 erhält man diese Ergebnisse:

	Krümmungsradius der Si-Linse	$R_K = 825 \mu\text{m}$
	Radius der Si-Linse	$R_L = 400 \mu\text{m}$
	Taillenradius des transformierten Strahls	$w_{0L,t} = 5,0 \mu\text{m}$
40	optischer Weg Laser – Linse (Gegenstandsweite)	$g = 482 \mu\text{m}$
	optischer Weg Linse – Faser (Bildweite)	$b = 1072 \mu\text{m}$
	Vergrößerung $M = b/g$	$M = 2,2$
	Versatz Linsenkrümmungsmitte – Mittenstrahl	$\Delta X_{Kr} = 26,6 \mu\text{m}$
	Versatz Linsenmitte – Stahlmitte	$\Delta X_{Li} = 147 \mu\text{m}$
45	Strahlrichtung im Si-Substrat 1	$\gamma_{LK} = 8,27^\circ$
	Strahlrichtung unter der Si-Linse $\gamma_4$	$= 3,7^\circ$
	erforderliche Einstrahlrichtung in Faser	$\varepsilon = 3,7^\circ$

50 Für die beiden Fälle mit Luft bzw. Kleber oberhalb der ersten Breitseite 11 des Substrates 1 lässt sich durch Wahl des Linsenkrümmungsradius  $R_K$  von 1100  $\mu\text{m}$  bzw. 825  $\mu\text{m}$  und des Linsenversatzes  $\Delta X_{Li}$  von 120  $\mu\text{m}$  bzw. 147  $\mu\text{m}$  die Tailenlänge und die Strahlrichtung so anpassen, daß eine optimale Einkopplung in eine senkrecht zur Montageebene des Lasers ausgerichtete Einmodenfaser möglich ist.

Die Berechnung für die Ausbreitung der Strahlenbündel ist nach dem Reziprozitätsprinzip der Optik ebenso auch für den umgekehrten Lichtweg gültig. Das heißt, daß ein aus der Faser austretender Empfangsstrahl bis zum Auftreffen auf die dichroitische Filterschicht 22 die gleiche Transformation und Strahlumlenkung erfährt wie der Sendestrahl. Die dichroitische Filterschicht 22 hat für den Empfangsstrahl wegen dessen anderer Wellenlänge ein sehr geringes Reflexionsvermögen und ein sehr hohes Transmissionsvermögen. Der Empfangsstrahl wird hier also nicht reflektiert, sondern er tritt in das Innere des Siliziumsubstrats 2 ein. Der Einfallswinkel  $\alpha_2$  des Mittenstrahls ist hier ebenso wie beim einfallenden Sendestrahl der Winkel  $\beta = 35,3^\circ$ . An der Fläche 21 wird der Empfangsstrahl zum Lot hingebrochen. Der Brechungswinkel hinter der Fläche 21 ist

$$\beta_2 = \arcsin((n_0/n_2) \cdot \sin(\alpha_2)).$$

65 Für den Fall 1 mit  $n_0 = n_{0L} = 1$  für Luft und  $n_2 = n_{\text{Si}} = 3,4777$  für Silizium als Substratmaterial für das Substrat 2 erhält man

$$\beta_{2L} = 9,56^\circ.$$

Der Richtungswinkel gegenüber der Flächennormalen der Oberseite **24** des Substrates **2** ist

$$\gamma_{24L} = \alpha - \beta_{2L} = 54,74^\circ - 9,56^\circ = 45,18^\circ.$$

5

Für den Fall 2 mit  $n_0 = n_{0K} = 1,5$  für Kleber und  $n_2 = n_{Si} = 3,4777$  für Silizium als Substratmaterial für das Substrat **2** erhält man

$$\beta_{2K} = 14,42^\circ.$$

10

Der Richtungswinkel gegenüber der Flächennormalen der Oberseite **24** des Substrates **2** ist

$$\gamma_{24L} = \alpha - \beta_{2L} = 54,74^\circ - 14,42^\circ = 40,32^\circ.$$

Der Grenzwinkel der Totalreflexion aus Silizium nach Luft ist

15

$$\beta_{grL} = \arcsin(1/n_{Si}) = 16,71^\circ.$$

Gegenüber einem transparentem Kleber mit  $n_K = 1,5$  ist der Grenzwinkel aus Silizium

20

$$\beta_{grK} = \arcsin(n_K/n_{Si}) = 25,55^\circ.$$

25

Ein Austritt aus der Seite **24** des Siliziumsubstrates ist für beide Fälle nicht möglich, auch wenn die Seite **24** gegen einen transparenten Kleber grenzen würde, da der Strahlrichtungswinkel gegenüber der Flächennormalen der Seite **24** für beide Fälle größer ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion. Eine auf der Seite **24** angebrachte Photodiode könnte daher kein Licht aus der Übertragungsfaser **4** empfangen.

25

Um das Empfangslicht trotzdem aus dem Siliziumsubstrat **2** auskoppeln und in eine planar auf der Seite **24** montierte Empfangsdiode **5** einkoppeln zu können, ist entsprechend einer Weiterbildung der Erfindung eine anisotrop geätzte Vertiefung **3** in der Seite **24** des Substrates **2** erzeugt. Das Empfangslichtbündel mit dem Mittenstrahl **131** trifft auf die Seitenfläche **31** der Vertiefung **3**. Da die beiden Flächen **21** und **31** wegen des gleichen anisotropen Ätzprozesses parallel zueinander sind, ist für die beiden Fälle mit Luft bzw. einem transparenten Kleber linksseitig der Fläche **21** der Einfallswinkel  $\beta_{3L}$  bzw.  $\beta_{3K}$  des Mittenstrahls **131** an der Begrenzungsfäche **31** so groß wie der Brechungswinkel  $\beta_{2L}$  bzw.  $\beta_{2K}$  rechtsseitig der Fläche **21**. In beiden Fällen ist der Einfallswinkel kleiner als der Grenzwinkel der Totalreflexion, so daß das Licht aus dem Siliziumsubstrat austreten kann. Um Verluste durch Fresnelreflexionen an der Grenzfläche **31** zu vermeiden, ist diese Fläche mit einer Antireflexionsschicht **32** belegt. Anstelle einer Antireflexionsschicht kann hier auch die gleiche Filterschicht wie in Schicht **22** verwendet werden. In diesem Fall können beide Seiten des Siliziumwafers **2** im gleichen Vakuumprozeß beschichtet werden.

30

Die Vertiefung **3** kann entweder mit Luft oder auch mit einem transparentem Kleber gefüllt sein. Je nach Brechungsindex in der Vertiefung **3** ergeben sich für die Brechungswinkel der beiden Fälle **1** und **2** folgende Kombinationen:

35

#### Fall 1a

Raum vor Fläche **21**:

$$\text{Luft } n_{oL} = 1$$

Raum hinter Fläche **31**:

$$\text{Luft } n_{3L} = 1$$

Richtungswinkel von Strahl **132**

$$\gamma_{132} = 19,47^\circ$$

45

#### Fall 1b

Raum vor Fläche **21**:

$$\text{Luft } n_{oL} = 1$$

Raum hinter Fläche **31**:

$$\text{Kleber } n_{3K} = 1,5$$

Richtungswinkel von Strahl **132**

$$\gamma_{132} = 32,10 \mu\text{m}$$

50

#### Fall 2a

Raum vor Fläche **21**:

$$\text{Kleber } n_{oK} = 1,5$$

Raum hinter Fläche **31**:

$$\text{Luft } n_{3L} = 1$$

Richtungswinkel von Strahl **132**

$$\gamma_{132} = -5,26^\circ$$

55

#### Fall 2b

Raum vor Fläche **21**:

$$\text{Kleber } n_{oK} = 1,5$$

Raum hinter Fläche **31**:

$$\text{Kleber } n_{3K} = 1,5$$

Richtungswinkel von Strahl **132**

$$\gamma_{132} = 19,47^\circ$$

60

Auf der Seite **24** des zweiten Siliziumsubstrates **2** wird die als Empfangselement dienende Empfangsdiode **5** so montiert, daß ihre lichtempfindliche Fläche über der Öffnung **33** der Vertiefung **3** liegt. Dabei kann entweder eine Photodiode mit der aktiven Fläche auf der Oberseite, wie in Fig. 1 gezeigt, oder eine Photodiode mit der aktiven Fläche auf der Unterseite eingesetzt werden. Die laterale Position der Photodiode kann anhand der oben angegebenen Richtungswinkel und der Position der Vertiefung **3** bezüglich der Fläche **21** vorherbestimmt und durch Marken oder Raststrukturen auf der Seite **24** des Siliziumsubstrates **2** gekennzeichnet werden, so daß eine passive Justierung dieser Empfangsdiode möglich ist.

65

Die optischen Weglängen (= geometrische Weglänge geteilt durch den Brechungsindex des jeweils durchlaufenden Materials) zwischen dem Lichtaustrittspunkt  $P_0$  an der Laserstirnfläche und dem Auftreffpunkt  $P_{21}$  des Sendestrahls **121** auf der Fläche **21** einerseits und des Empfangslichtstrahls zwischen dem Punkt  $P_{21}$  und dem Lichtauftreffpunkt  $P_5$  auf der Empfangsdiode **5** andererseits lassen sich durch eine geeignete Positionierung der Vertiefung **3** bezüglich der Fläche **21** einander angleichen. Dadurch kann erreicht werden, daß im Punkt  $P_5$  die Strahltaille des transformierten Empfangsstrahls zu liegen kommt, die als Abbildung der Strahltaille auf der Faserstirnfläche **42** durch die Linse **15** entsteht. Die transformierte Empfangsstrahltaille im Punkt  $P_5$  hat dann den gleichen Durchmesser wie die Strahltaille des Laserstrahls an der Lichtaustrittsfläche im Punkt  $P_0$  des Lasers. In dem angegebenen Beispiel sind dies  $4,5 \mu\text{m}$ . Damit lassen sich auch kleinfächige Fotodioden, die für höchste Frequenzbereiche erforderlich sind (Durchmesser der aktiven Zone typisch  $30 \mu\text{m}$ ) noch mit ausreichendem Justagespielraum ankoppeln.

Für das erfindungsgemäße Modul ist eine kostengünstige Herstellung der Siliziumsubstrate **1** und **2** möglich, da sie im Großnutzen auf Waferebene strukturiert und beschichtet werden können. Die Montage der optoelektronischen Wandlerelemente kann ebenfalls kostengünstig auf Waferebene erfolgen. Auch die gegenseitige Ausrichtung des oberen und unteren Siliziumsubstrates kann vorteilhafterweise auf Waferebene geschehen. Dabei werden mit einem einzigen Justagevorgang alle Teilstücke beider Wafer gleichzeitig zueinander ausgerichtet. Diese Ausrichtung kann auch justagefrei erfolgen, wenn auf dem Wafer an mindestens zwei Stellen zueinander korrespondierende Raststrukturen gemeinsam mit der anisotropen Ätzung der übrigen Strukturen hergestellt werden. Diese Raststrukturen können beispielsweise pyramidenförmige Vertiefungen sein, in welche Präzisionskugeln eingelegt werden. Die gegenseitige Fixierung der beiden Wafer kann durch Kleben, Löten oder ein anderes bekanntes Befestigungsverfahren geschehen. Nach der Fixierung werden die Wafer vereinzelt und die einzelnen Modulbausteine auf den Leadframes montiert.

**Fig. 2** zeigt ein erfindungsgemäßes Transceiver-Modul, das auf einer Seite **201** eines Leadframe **200** montiert ist. Auf der anderen Seite **202** des Leadframe **200** ist eine Steckbuchse **300** mit ihrer Flanschfläche **301** aktiv justiert und über Laserschweißpunkte **203** fixiert. In diese Steckbuchse ist eine Ferrule **400** mit der Übertragungsfaser **4** eingeführt. Diese Faser hat eine schräg geschnittene Stirnfläche (der Schnittwinkel in diesem Ausführungsbeispiel ist  $8^\circ$ ), in die der transformierte Laserstrahl **124** eingekoppelt wird. Der axiale Abstand wird dabei durch den Anschlagring **310** so voreingestellt, daß zwischen der Linse **15** auf der Unterseite **14** des Siliziumsubstrates **1** und der Taille des transformierten Laserstrahls **124** gerade die oben berechnete Bildweite  $b$  liegt. Die laterale Position der Faser bezüglich der Strahltaille des transformierten Laserstrahls wird durch aktive Justage der Flanschfläche **301** auf der Unterseite **202** des Leadframes **200** eingestellt und durch Laserschweißpunkte **203** fixiert.

Das aus der Rückseite des Laserchips austretende Lichtsignal kann, wie nach dem Stand der Technik üblich, zur Leistungsregelung verwendet werden. Der erfindungsgemäße Aufbau bietet hierzu eine vorteilhafte Lösung zur Strahlumlenkung auf eine planar montierte Monitordiode **60**. Diese Monitordiode wird erfindungsgemäß in einer Vertiefung **16** im Siliziumsubstrat **1** montiert. Das obere Siliziumsubstrat **2** erhält eine weitere anisotrop geätzte Fläche **61**, die der Fläche **21** gegenüberliegt. Beide Flächen **21** und **61** sind dabei die Seitenflächen einer anisotrop geätzten Öffnung **20** im oberen Siliziumsubstrat **2**. Die Strahlumlenkung des rückwärtig austretenden Laserstrahls geschieht durch Reflexion an der Fläche **61**, die hierzu mit einer die Laserwellenlänge reflektierenden Schicht **62** belegt ist. Vorteilhafterweise kann diese Schicht **62** den gleichen Aufbau haben, wie die dichroitische Schicht **22** auf der Fläche **21** und mit dieser gemeinsam ohne wesentlichen Mehraufwand hergestellt werden. Zur elektrischen und mechanischen Kontaktierung der Unterseite der Monitordiode **60** wird der Boden und mindestens eine der Seitenflächen der Vertiefung **16** mit einer Goldschicht **17** belegt. Die übrige elektrische Kontaktierung des Empfangs- und Sendezeugs des Transceiver-Moduls geschieht über Bonddrähte zu den entsprechenden Kontaktbereichen des Leadframes (hier nicht gezeichnet). Zum Schutz vor Umwelteinflüssen können die aktiven Bauelemente des Transceivers und die Bonddrähte mit einem optisch transparenten Schutzverguß (engl. glob top) **70** umhüllt sein. Das Gesamtmodul kann dann noch mit einer harten Umhüllung (hier nicht gezeichnet) umgeben werden.

45

#### Abwandlungsmöglichkeiten

Anstelle des Laserchips **12** kann auch ein integrierter Transceiverchip **512** (**Fig. 3**) eingesetzt werden. Ein solcher Transceiverchip enthält auf einem Chip integriert einen Sendeteil, der die Wellenlänge  $\lambda_1$  aussendet und einen Empfangsteil, der die Empfangswellenlänge  $\lambda_2$  empfängt. Das Sende- und das Empfangslicht werden über denselben Ein- und Ausgangswellenleiter auf dem Chip geführt und haben denselben Lichtein- und -austrittsfleck, der an der Stelle  $P_0$  liegt. Dieser gemeinsame Ein- und Ausgangswellenleiter kann, wie zuvor beschrieben, als Transformationswellenleiter zur Vergrößerung des Modenfelddurchmessers ausgebildet sein. Die Strahlengänge für die Sende- und die Empfangsrichtung sind dann so, wie zuvor für die Senderichtung beschrieben wurde. Die dichroitische Filterschicht **22** wird nun durch eine Reflexionsschicht **522** für beide Wellenlängen ersetzt. Die Trennung der Wellenlängen geschieht auf dem integrierten Transceiverchip durch einen dort integrierten wellenlängenselektiven Koppler. Zusätzlich kann der Transceiverchip auch eine integrierte Monitordiode enthalten, so daß die Monitordiode **60** nach **Fig. 2** in der Vertiefung **16** mit der zur Strahlumlenkung vorgesehenen Fläche **61** entfallen kann.

Ebenso ist es möglich, die erfindungsgemäße Anordnung ganz ohne Empfangsteil, also ohne die Fotodiode **5** und ohne die Vertiefung **3** nur mit dem Laserchip **12** als reines Sende Modul zu verwenden.

#### Patentansprüche

##### 1. Elektrooptisches Modul

- 65 – mit einem optisch durchlässigen, plattenförmigen Substrat (**1**) mit zwei planparallelen Breitseiten (**11**, **14**),
- mit einem optischen Sendeelement (**12**, **512**), das zur Erzeugung von Sendestrahlung dient und das in einem ersten Vorräum vorgesehen ist, der der ersten Breitseite (**11**) vorgelagert ist,
- mit Mitteln zur Strahlformung für die Einkopplung in eine Einkopplungsfläche, die sich im Vorräum der

zweiten Breitseite (14) befindet, wobei die zweite Breitseite (14) einen strukturierten Oberflächenbereich aufweist, der als Mittel zur Fokussierung der im Betrieb durch das Substrat (1) geworfenen Sendestrahlung auf die Einkopplungsfläche dient,

- mit folgenden Merkmalen:
  - die erste Breitseite (11) weist eine kristallographische (100)-Orientierung auf,
  - im ersten Vorraum ist eine die Sendestrahlung im Betrieb reflektierende und auf die erste Breitseite (11) werfende Fläche (21) angeordnet,
  - die ebene Fläche (21) hat eine kristallographische (111)-Orientierung gegenüber der kristallographischen (100)-Orientierung der ersten Breitseite (11),
  - im Vorraum der zweiten Breitseite (14) ist der Einkopplungsfläche eine Aufnahmeverrichtung (300, 310) für einen Halter (400) eines optischen Wellenleiters (4) mit Stirnfläche (42) zugeordnet,
  - der strukturierte Oberflächenbereich ist so lokalisiert, daß im Betrieb die Richtung des Mittenstrahls (123, 124) der Sendestrahlung im Vorraum der zweiten Breitseite (14) weniger von dem Lot auf der zweiten Breitseite (14) abweicht als innerhalb des Substrats (1).

2. Modul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionsrichtung des Sendeelements (12, 512) parallel zur ersten Breitseite (11) verläuft. 15
3. Modul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der strukturierte Oberflächenbereich als konvexe Linse (15) gestaltet ist.
4. Modul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß, der Krümmungsradius der Linse (15) so gewählt ist, daß der aus dem Sendeelement (12, 512) austretende Sendestrahl so transformiert wird, daß die Taille des transformierten Sendestrahls so groß ist wie die Strahltaille einer in einer handelsüblichen Einmodenfaser geführten Lichtwelle.
5. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fläche (21) durch anisotropes Ätzen eines plattenförmigen Siliziumsubstrates (2) geformt ist, das so auf der ersten Breitseite (11) montiert ist, daß die (100)-Orientierung des Siliziumsubstrates (2) Parallel zur ersten Breitseite (11) verläuft.
6. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zusätzlich zum Sendeelement (12) ein Empfangselement (5) aufweist.
7. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fläche (21) reflektierend für die Sendestrahlung, aber durchlässig für Strahlung mindestens einer anderen als Empfangswellenlänge geeigneten Wellenlänge ist.
8. Modul nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zur Fläche (21) eine Begrenzungsfläche (31) liegt, die zusammen mit der Fläche (21) einen Plattenabschnitt begrenzt, der aus einem Material besteht, das optisch durchlässig ist für eine von der Sendewellenlänge des Sendeelements (12) abweichende Wellenlänge und einen höheren Brechungsindex aufweist als die Vorräume der Fläche (21) und der Begrenzungsfäche (31).
9. Modul nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Begrenzungsfläche (31) auch eine anisotrop in eine Siliziumplatte (2) geätzte Vertiefung (3) begrenzt.
10. Modul nach Anspruch 6 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliziumplatte (2) auf einer ihrer Breitseiten (24) das Empfangselement (5) trägt.
11. Modul nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Weglängen zwischen einerseits der Fläche (21) und andererseits dem Lichtaustrittspunkt ( $P_0$ ) an dem Sendeelement beziehungsweise dem Auftreffpunkt ( $P_5$ ) des Empfangslichtstrahls auf dem Empfangselement (5) einander angeglichen sind.
12. Modul nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß Brechzahlen und Geometrie so gewählt sind, daß im Betrieb im Auftreffpunkt ( $P_5$ ) des Empfangslichtstrahls auf dem Empfangselement (5) die Strahltaille des transformierten Empfangsstrahls liegt, die durch die Linse (15) als Abbildung der Strahltaille in der Einkopplungsfläche entsteht.
13. Modul nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Sendeelement Bestandteil eines Transceiverchips (512) mit integriertem Empfangselement ist und daß die Fläche (21) sowohl für die Sende- als auch für die Empfangswellenlänge reflektierend ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

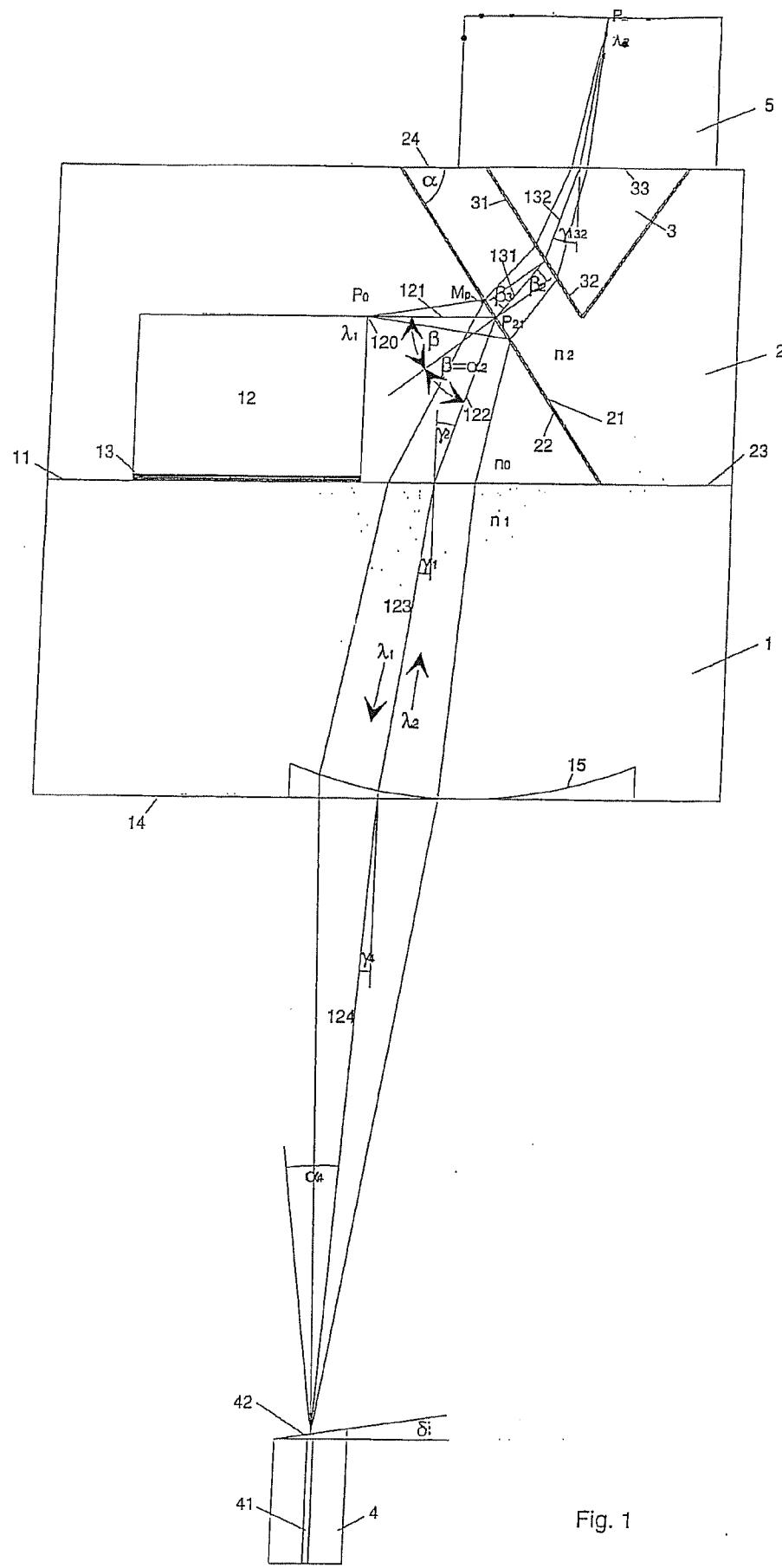


Fig. 1

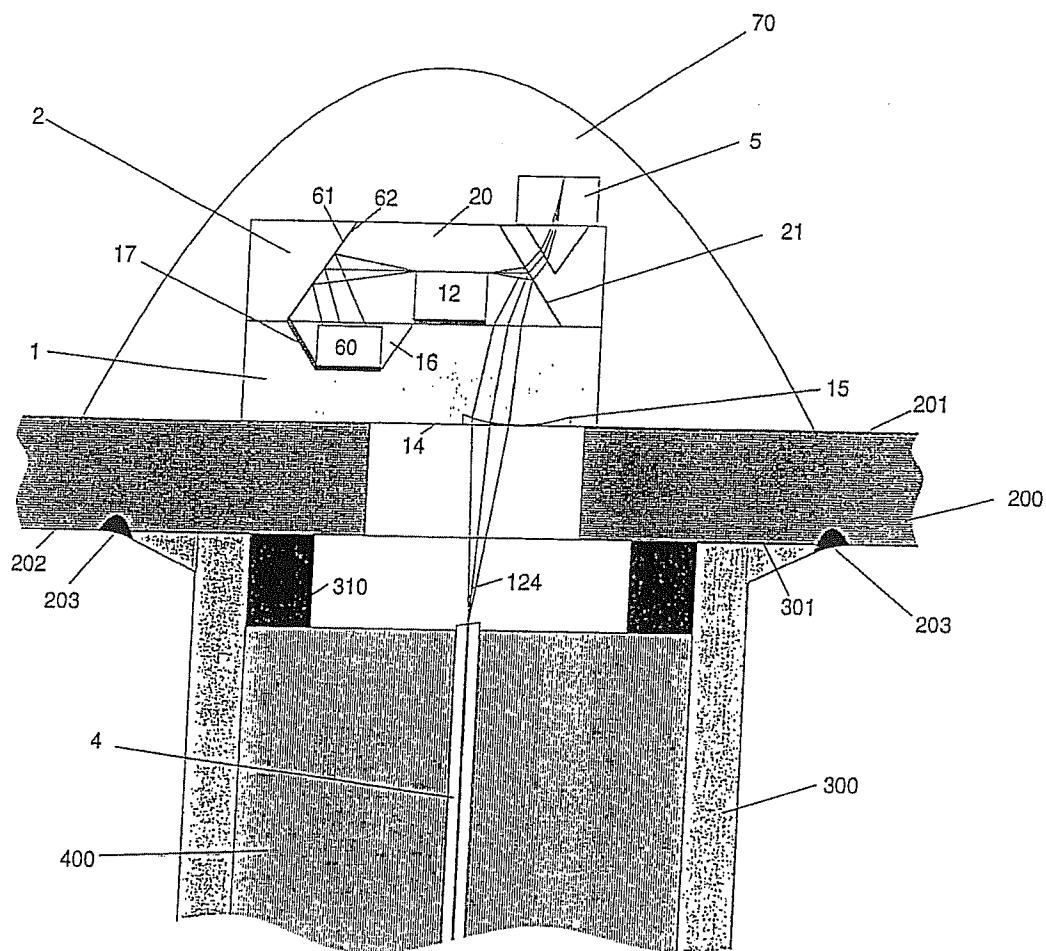


Fig. 2

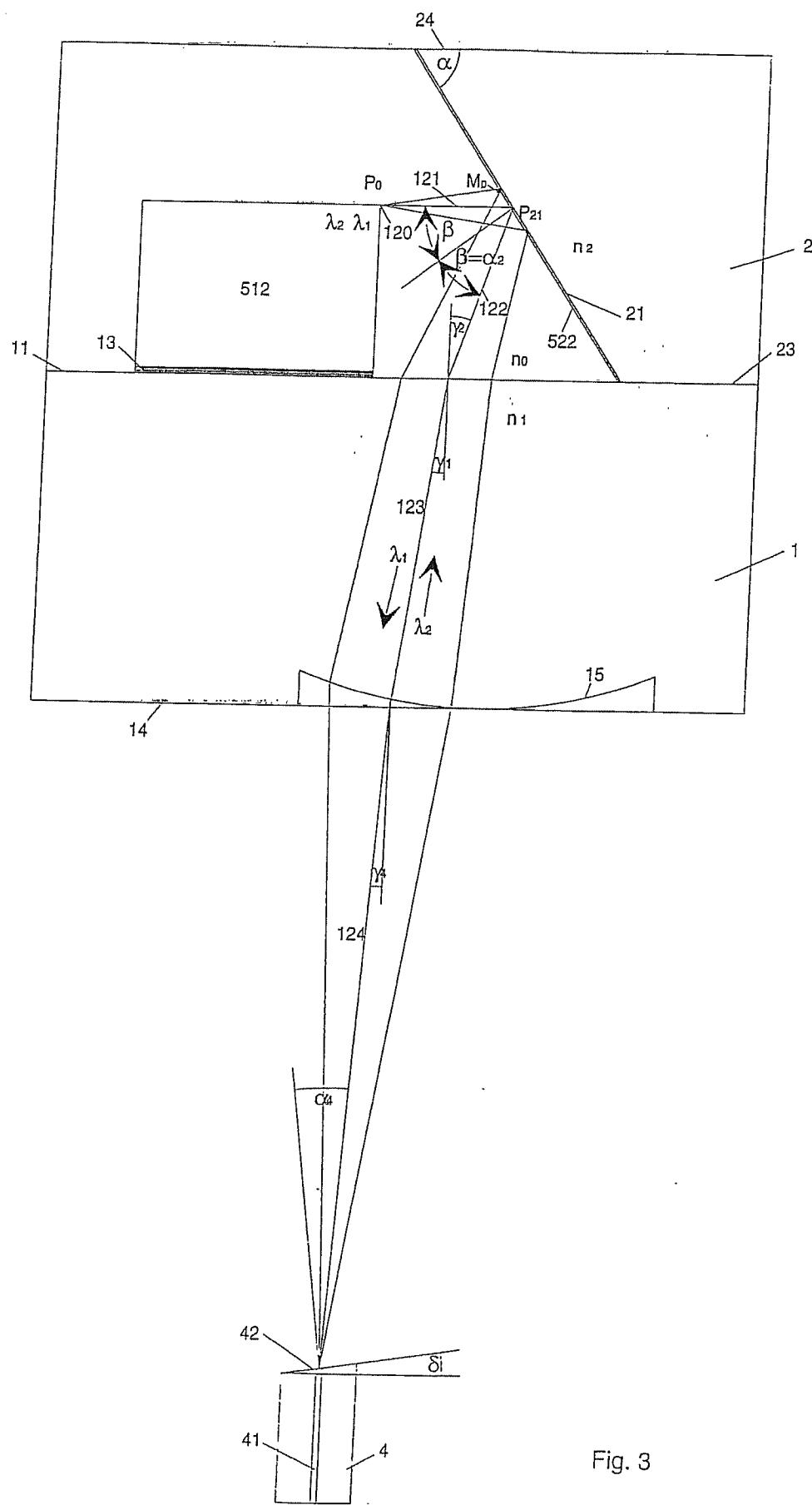


Fig. 3